

**UBICACIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN REDES DE
DISTRIBUCIÓN USANDO EL MÉTODO DE BÚSQUEDA HARMÓNICA**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
UBICACIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN REDES DE
DISTRIBUCIÓN USANDO EL MÉTODO DE BÚSQUEDA HARMÓNICA**

**AUTOR:
JOHANNA GABRIELA QUIROZ TOAPANTA**

**DIRECTOR:
IVÁN PATRICIO GALÁRRAGA MONTALVO**

Quito, Febrero 2019

Johanna Gabriela Quiroz Toapanta

UBICACIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN REDES DE
DISTRIBUCIÓN USANDO EL MÉTODO DE BÚSQUEDA HARMÓNICA

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2019

Ingeniería Eléctrica

Reseña de autores e información de contacto:



Johanna Gabriela Quiroz Toapanta, (Y'1991-M'02). Realizó sus estudios de nivel Egresada de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en la optimización para ubicar mediante un modelado matemático unidades de Generación Distribuida para sistemas fotovoltaicos en redes de distribución. jquirozt@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Iván Patricio Montalvo Galárraga (Y'1987-M'04). Se graduó de Ingeniería eléctrica y electrónica en la Universidad San Francisco de Quito y de Master en Power Distribution en Newcastle University en 2016. Actualmente se encuentra trabajando como docente e investigador en la Universidad Politécnica Salesiana. Área de interés: sistemas de puesta a tierra, generación distribuida, localización y optimización de fallas, Smart grids. imontalvo@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2019 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO-ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Iván Patricio Montalvo Galárraga declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación "*Ubicación óptima de sistemas fotovoltaicos en redes de distribución usando el método de búsqueda armónica*" realizado por (Johanna Gabriela Quiroz Toapanta), obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Febrero 2019

.....

Iván Patricio Montalvo Galárraga

Cédula de identidad: 1716480916

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Johanna Gabriela Quiroz Toapanta con documento de identificación N° 1724353519, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: "*Ubicación óptima de sistemas fotovoltaicos en redes de distribución usando el método de búsqueda armónica*", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, Febrero 2019



Nombre: Johanna Gabriela Quiroz Toapanta

Cédula de identidad.:1724353519

ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	1
Abstract	1
1. Introducción	2
1.1 Estructura y configuración de una planta fotovoltaica.....	4
1.2 Recurso fotovoltaico integrado a generación distribuida.....	5
1.3 Estabilidad de voltaje en la integración de generadores fotovoltaicos a la red de distribución.....	6
2. Algoritmo de Búsqueda Harmónica.....	7
2.1 Inicialización de Búsqueda Harmónica.....	7
2.2 Improvisación de nuevas soluciones.....	8
2.3 Actualización de Memoria Harmónica	8
3. Caso de Estudio y Modelamiento del Sistema.....	9
3.1 Análisis de flujos de Potencia	9
3.2 Modelo de Optimización.....	12
4. Análisis de los resultados	14
4.1 Sistema de Distribución en Condiciones Iniciales	14
Nodo.....	14
Voltaje en p.u.	14
4.2 Aplicación de GD en los Nodos Seleccionados mediante Búsqueda Harmónica.....	14
4.3 Línea de Tendencia Referente al Perfil de Voltaje	15
5. Conclusiones	16
6. Trabajos Futuros	16
7. Referencias.....	17
8. Estado del Arte.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Composición de una Planta FV	4
Figura 2. Planta de Generación FV enlazada al Sistema de Distribución Eléctrica.	7
Figura 3. Sistema de nueve Barras, tomado de IEEE	9
Figura 4. Voltajes nodales del sistema de Distribución, mostrados en p.u.	14
Figura 5. Voltaje nodal del nodo 10, al haber aplicado GD representado en p.u.	15
Figura 6. Voltaje nodal del nodo 9, al haber aplicado GD representado en p.u.....	15
Figura 7 Voltaje nodal del nodo 8, al haber aplicado GD representado en p.u.....	15
Figura 8. Línea de tendencia de voltaje en p.u. de los nodos seleccionados como óptimos.....	16

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores nominales del Sistema Distribución.....	9
Tabla 2 Voltajes Nodales del Sistema de Distribución.	14
Tabla 3. Potencias calculadas de Plantas de Generación FV, correspondiente a cada nodo	15
Tabla 4. Indicadores de Estado del Arte- Temática.	22
Tabla 5. Indicadores de Estado del Arte-Formulación del problema.....	22
Tabla 6. Indicadores del estado de Arte-Solución.	22

UBICACIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN, USANDO EL MÉTODO DE BÚSQUEDA HARMÓNICA

Resumen

El presente artículo muestra una solución viable para ubicar óptimamente unidades de Generación Distribuida (GD) del tipo fotovoltaico, en un sistema de distribución eléctrico. Para ello se hace uso del Sistema de distribución eléctrico de 9 barras, tomado del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE). El proceso tiene lugar dando paso al estudio de flujos de potencia aplicado en el sistema, obteniendo de esta manera, los valores de voltaje y potencia en cada uno de los buses del sistema. Realizado esto, se procede a seleccionar de manera aleatoria, un nodo del sistema, con el objetivo de encontrar una solución parcial a través del algoritmo de búsqueda armónica, el cual, realizará esta búsqueda, iterando los nodos necesarios hasta llegar a la convergencia deseada. Dentro del algoritmo de búsqueda armónica, se calcula la potencia del emplazamiento que es correspondiente a cada nodo que permite compensar su voltaje nodal, estos resultados parciales obtenidos en cada nodo, son comparados en la memoria armónica existente en el algoritmo, la cual archiva los tres resultados con mayor relevancia, estos resultados son expuestos en conjunto, mediante una línea de tendencia que, presenta dichos resultados en conjunto con el perfil de voltaje inicial del sistema eléctrico sin haber hecho implementación de generación alguna. Permitiendo de esta manera, apreciar la elevación del perfil de voltaje en el nodo de enlace y, también en el sistema de distribución, ya que el sistema también percibe dicho aporte energético elevando los voltajes nodales del sistema eléctrico.

Palabras Clave: Algoritmo de Búsqueda Armónica, Optimización, Generación Distribuida, Perfil de Voltaje, Sistema de Distribución.

Abstract

This article shows a viable solution to locate optimally units of Distributed Generation (DG) of the photovoltaic type, in a system of electrical distribution. For this, the 9-bar electrical distribution system is used, taken from the Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE). Consequently, the process allows the study of power flows applied in the system, obtaining in this way, the values of voltage and power in each bus of the system. Afterward, a node of the system is randomly selected to find a partial solution through the harmony search algorithm, which will perform this quest, iterating the necessary nodes until reaching the desired convergence. The harmony search algorithm calculates the emplacement power which is corresponding to each node, and allows the compensation its nodal voltage; furthermore, the harmony memory of the logarithm, which archives the three results with greater relevance, compares these partial results to be presented on the whole by a trend line, which in turn shows the results with the initial voltage profile of the electrical system without having made any implementation of generation. Accordingly, this method allows to appreciate the elevation of the voltage profile in the link node, and also in the distribution system, for the system perceives this energy supply elevating the nodal voltages of the electrical system.

Keywords: Algorithm of Harmonic Search Optimization, Distribution Networks, Renewable Resources, Voltage Profile.

1. Introducción

En la actualidad el uso de energía eléctrica es verdaderamente imprescindible en cualquier ámbito, y si bien es cierto, el confort y calidad de vida de las personas depende de ello; es por esto, que la demanda de energía eléctrica tiende a crecer a cada instante y, con ello, la necesidad de implementar nuevas fuentes de generación eléctrica con las que se logre cubrir de manera satisfactoria dicha demanda creciente de energía [7].

Debido a esto, es factible pensar en la posibilidad de usar fuentes de generación renovables no convencionales de tipo fotovoltaico, que estén enlazados directamente en el sistema de distribución de la energía eléctrica [1].

Por ello, los gestores de planificación han realizado diversos proyectos de generación eléctrica que permitan satisfacer las actuales necesidades dentro del mercado eléctrico [2].

Estos proyectos han dado paso a la construcción de plantas de generación eléctrica de tipo convencional, es decir, tipo hídrico y de tipo térmico, pero es importante reconocer que, este tipo de plantas demandan espacios físicos realmente considerables, a más de esto, se debe tomar en consideración el impacto ambiental que producen estas plantas de generación [3]. Es por esto que se ha dado parte a nuevas ideas para generar energía eléctrica, teniendo como finalidad fortalecer el sistema de servicio eléctrico. Por ello, se ha recurrido al uso de unidades GD como recurso satisfactorio para generar electricidad [5].

Ahora bien, si la implementación de GD resulta ser una solución plausible para aportar energía en el sistema, existen factores que limitan dicha implementación tanto en el

ámbito técnico como en el ámbito constructivo [6].

En cuanto al ámbito constructivo se puede mencionar que, no existen espacios físicos disponibles en los que se puedan construir los emplazamientos de GD que posean una ubicación prolijamente cercana a los centros de carga tomando en consideración que en la actualidad los espacios donde se podría implementar las unidades de GD son escasos en las ciudades que son los centros de carga con mayor demanda energética de un sistema eléctrico [4] [6] [27].

Como limitantes técnicos podemos mencionar que, el hecho de realizar un estudio que garantice que la ubicación sea óptima dentro de un sistema eléctrico, no asegura que dicha ubicación sea también óptima para producir energía eléctrica de tipo Fotovoltaico (FV) [14], esto se debe a que la planta debe tener niveles óptimos de operación para que la planta de GD posea un factor de planta que tienda a 1 [18].

Esto se logra realizando estudios de energía primaria, los cuales muestran que tan eficiente es para la planta de generación eléctrica el comportamiento del sol en una ubicación determinada. Si estos estudios no son realizados, el resultado será obtener una producción fluctuante de energía, es decir, el aporte de energía para el sistema de distribución eléctrico también tendrá el mismo comportamiento, desencadenando así contingencias eléctricas como variaciones de tensión y variaciones de frecuencia, por mencionar las de mayor trascendencia [12] [17] [18].

Ahora bien, considerando que el sistema de distribución eléctrica es el que enlaza a las empresas distribuidoras de energía con el usuario final, resulta prudente mencionar que, estos dos actores del

mercado eléctrico obtienen beneficios al existir GD en el sistema [15], ya que al incrementar unidades de generación al interrupciones eléctricas disminuye, el costo de la energía también se verá reducido, esto se debe a que se evitará suministrar energía proveniente de plantas de generación con costos de producción elevados, como lo que son las plantas de generación térmica [13] [14].

A más de esto, el uso de energía renovable reduce también la cantidad de emisiones contaminantes beneficiando al ecosistema y volviéndolo menos nocivo para el hombre. Por otra parte, los beneficios para las empresas distribuidoras serán, brindar mayor confiabilidad y calidad de servicio, esto es resultado de la reducción de pérdidas por distribución de energía [18]. A más de esto, permite que el servicio llegue a lugares remotos, permitiendo que el servicio eléctrico sea brindado en toda el área de concesión [17]. Otro sector beneficiado por los emplazamientos de GD es el comercial, el motivo, es que esta tecnología al ser implementada permite tener mayor control de potencia reactiva, lo que permitirá eliminar paulatinamente y, a medida de lo posible, los bancos de compensación tipo capacitor, que generalmente se encuentran en las industrias; por todo lo anteriormente mencionado se puede decir que, la red eléctrica obtiene considerables mejoras operacionales [26].

Considerando el aporte de potencia eléctrica para el sistema eléctrico, es pertinente acotar que, el fortalecimiento del sistema es verdaderamente importante y esto se debe a que, al sumar generadores al sistema, las contingencias que pueden presentarse serán amortiguadas de mejor manera al tener más generadores, debido a que la

regulación primaria de frecuencia menciona que, a medida que el parque generador de un sistema eléctrico sea más robusto, podrá amortiguar contingencias de mejor manera, debido a que una de las características operacionales de los generadores es que pueden sobreponerse a estos eventos utilizando un porcentaje de reserva de generación para realizar este cometido [11] [13].

Por todo lo mencionado, resulta viable el estudio planteado. El proceso para realizar el estudio comienza con analizar el funcionamiento del sistema a través del método de flujos de potencia, este método hace posible encontrar los valores de las componentes eléctricas tales como: voltaje, ángulo de voltaje, corriente y valores de potencia en cada bus o barra del sistema, dando referencia del funcionamiento del mismo en operación normal [11].

Como se menciona en el párrafo inmediato anterior, el análisis de flujos de potencia permite mostrar los valores de las variables, más no define si dichos valores se encuentran en un nivel adecuado, el cual permita ratificar que los valores de las componentes eléctricas sean óptimos [13].

Por ello ha sido necesario implementar el método matemático conocido como flujo óptimo de potencia, el cual, permite discernir si los valores correspondientes a las variables eléctricas son o no adecuados. Este proceso resulta complementario ya que, por medio de estos dos procedimientos es posible implementar restricciones con las que las componentes serán discriminadas con la finalidad de discriminar si se encuentran dentro de un rango óptimo de funcionamiento [25].

Hecho esto, se procede a ejecutar el método de Búsqueda Armónica mediante el cual, se elige

aleatoriamente un bus para luego implementar en él la planta de generación FV a modo de GD para compensar, de ser el caso, su funcionamiento no óptimo, luego de esto, el resultado obtenido será archivado en la memoria harmónica para evaluar si es o no el más favorable para el sistema luego de que este proceso se repita en cada uno de los buses que componen el sistema [22] [23] [24].

Cabe mencionar que, cada uno de los estudios que se realicen, tendrán como finalidad el hallar la locación en que se deba implementar el emplazamiento de generación considerando, el mejor y mayor impacto dentro del sistema global, ya que el compensar en el bus que contenga los peores valores no asegura que el sistema obtenga los mejores resultados [19] [21] [25].

1.1 Estructura y configuración de una planta fotovoltaica

La recepción de la radiación óptica solar para generar energía eléctrica es un fenómeno conocido como efecto fotovoltaico.

Para realizar esta conversión es necesario el uso de la célula solar que hasta el momento, ha sido utilizada como generador permanente de energía eléctrica. El principio de funcionamiento radica, en que cuando la célula solar recibe luz del sol incidente en ella, transmite esa energía moviendo electrones y generando una corriente eléctrica lo suficientemente alta para poder circular en un circuito externo, liberando así la energía brindada por los fotones de radiación solar.

Dentro de las plantas generadoras de energía fotovoltaica, se utiliza este proceso a gran escala, ya que, las celdas solares conforman cada uno de los paneles que potencian el proceso de recepción de energía al máximo

posible, con el fin de generar mayor cantidad de energía eléctrica. Es importante mencionar que, los elementos capaces de generar energía a través de la radiación solar generan energía eléctrica de tipo continua, debido a ello, se presenta la siguiente imagen con la cual, se muestra la estructura de un generador eléctrico fotovoltaico capaz de generar energía eléctrica en corriente.

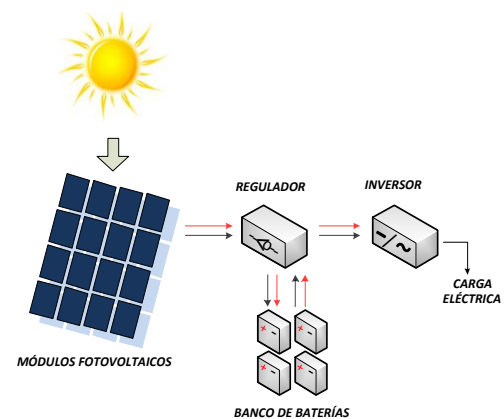


Figura 1. Composición de una Planta FV

La figura 1 muestra la estructura y elementos que hacen posible generar energía eléctrica en corriente alterna.

El proceso se puede describir mediante la recepción de radiación solar mediante los módulos fotovoltaicos. A partir de esto, la energía es transportada hacia el regulador, el cual, nivela el voltaje para dos procesos posteriores, el almacenamiento de dicha energía en el banco de baterías y la entrega de energía hacia el inversor respectivamente. Hecho esto, la energía eléctrica en corriente continua se transporta hacia el inversor, el cual, mediante la aplicación de electrónica de potencia, convierte la energía eléctrica de corriente continua en energía eléctrica de corriente alterna con el fin de que se pueda utilizar de mejor manera.

1.2 Recurso fotovoltaico integrado a generación distribuida

La generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables presenta varias ventajas con respecto a las fuentes de generación entendidas como convencionales, ya que dichas fuentes de generación renovables son producto de sistemas que aprovechan energías primarias que son inagotables, a más de esto, es importante acotar que, el producto contaminante es considerablemente menor considerando la contaminación e impacto que presentan los emplazamientos de generación energética llamados convencionales.

Debido a esto es factible mencionar que, al implementar este tipo de recursos podremos obtener energía inagotable y de bajo impacto ambiental [6]. Mencionado esto, es imprescindible considerar que, este tipo de generadores eléctricos renovables pueden ser implementadas considerando espacios físicos relativamente menores, ya que su topología constructiva permite acoplar la necesidad de aporte energético con recursos estructurales que son de cierta manera desperdiciados y, porque no, obsoletos.

El hecho de mantener fuentes renovables de energía, conformadas de manera correspondiente a un posible limitado espacio físico hace pensar en que la capacidad de generación no esté demarcada ni unificada, es decir, cada unidad se podrá acoplarse a recursos físicos existentes y que resulten prolijos a la hora de implementar emplazamientos de este tipo. En cuanto a condicionantes de funcionamiento existen aquellos que limitan el proceso productivo de estas unidades de generación, ya que la fuente de energía primaria de la que son dependientes es impredecible [30].

Esto hace que a pesar de los estudios y datos estadísticos de los que depende la elección de un sitio adecuado, no se garantice que la producción siempre tenga un factor de planta elevada y óptima. Debido a esto, los impactos en el sistema de potencia referentes a las condiciones meteorológicas, deben tener consideración ya que, esto puede desencadenar en la presencia de perturbaciones como la afectación en los flujo de potencia, estabilidad, perfiles de voltaje y en la calidad de la energía que va a ser entregada al sistema de distribución, puesto que, la radiación e irradiación solar es oscilante y por tanto la producción de energía eléctrica tendrá el mismo comportamiento [7]. Es imprescindible mencionar que las variables expuestas anteriormente, no serán consideradas para el estudio y, solamente han sido mencionados con fines explicativos. Expuesto esto, es prolijo mencionar que existen métodos que permiten evadir estos inconvenientes, con el fin de aumentar la calidad y seguridad de servicio energético, un método usualmente contemplado es la implementación de baterías, las cuales permiten almacenar la energía producida para aportar al sistema cuando sea necesario. Estos métodos hacen posible que, integrar unidades de generación distribuida al sistema de distribución eléctrica sea una solución bastante satisfactoria en cuanto a satisfacer la demanda energética se refiere [5] [8].

Es de vital importancia comprender que el sistema GD no posee una conceptualización única ni verdaderamente puntual, por ello varios autores, de los cuales hemos cimentado nuestra base, dan a conocer que la GD es toda cuanta generación no convencional a menor escala que se encuentra conectada cercana o en la

carga del sistema de distribución, por ello este tipo de sistemas han tomado importancia así como impulso tecnológico, brindando apoyo y sustentación en nuevas y reformadas políticas eléctricas y ambientales.

A más de esto, la integración de las fuentes de energía renovables con salidas aleatorias variables, requiere expandir la perspectiva al modelar el problema de la reconfiguración de la red y en la configuración de las técnicas de solución apropiadas [9].

Por ello es importante, planificar óptimamente la implementación de unidades de generación distribuida para asegurar que la eficiencia y el rendimiento de una red de distribución cumpla con la calidad que se espera en cuanto a potencia, estabilidad de tensión, fiabilidad y confiabilidad de servicio se refiere [5] [31].

Los aspectos mencionados anteriormente, hacen posible que las unidades a implementarse sean un aporte sustentable a través del tiempo, devengando a través de su funcionamiento, el costo de construcción invertido en ellas convirtiéndose así en una solución integral en el fortalecimiento del sistema eléctrico global.

1.3 Estabilidad de voltaje en la integración de generadores fotovoltaicos a la red de distribución

Dentro de los sistemas eléctricos existen rangos operativos que hacen posible entregar energía eléctrica desde los puntos de generación hasta los puntos de carga, con el fin de que dicho servicio posea niveles aceptables de seguridad y confiabilidad.

Estos márgenes y rangos operativos se resumen en un concepto llamado estabilidad de voltaje; que es la capacidad que posee un generador o

grupo de generadores para mantener el voltaje en un estado estacionario en todas sus barras de conexión, luego de haber atravesado algún tipo de contingencia o perturbación.

Estas perturbaciones podrían causar inestabilidad en el sistema, haciendo que el mismo opere con voltajes que tiendan a declinar su magnitud considerablemente, dejando al sistema incapaz de suministrar potencia eléctrica hacia los puntos de carga que normalmente satisface en condiciones normales. Los eventos más comunes que dan parte a estas perturbaciones son el deslastre de carga, desconexión de líneas de distribución y pérdida de sincronismo de unidades de generación. Por ello, el concepto de estabilidad de voltaje es fundamental al enlazar unidades de generación en el sistema de distribución, ya que, si dichas unidades no se encuentran dentro del rango permitido por las restricciones en las que se ejecuta el proceso de flujo óptimo de potencia, podrían propiciar perturbaciones considerables tales como, variación de tensión y ángulo de la misma, las cuales podrían propiciar que el sistema colapse. A más de esto, la estabilidad de voltaje nos da pautas claras para que las unidades puedan tener sincronía y puedan enlazarse al sistema de distribución, estas pautas condicionantes son: misma magnitud de voltaje, frecuencia y misma secuencia de fases.

Por ello, el modelamiento del sistema integrado podría mantener la forma y estructura que se muestra a continuación.

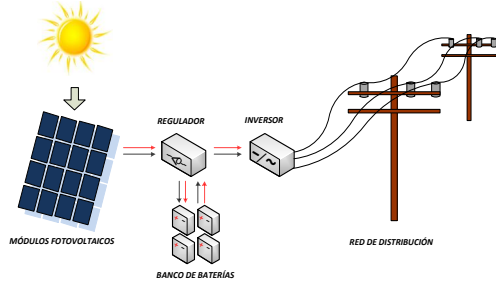


Figura 2. Planta de Generación FV enlazada al Sistema de Distribución Eléctrica.

En la figura 2 mostrada anteriormente, se puede apreciar la configuración del emplazamiento FV que hace posible que este se enlace técnica y adecuadamente con el sistema de distribución eléctrico. También se aprecian los elementos que conforman el emplazamiento FV, ayudando así a comprender de mejor manera la configuración recomendada para la construcción de la planta FV.

2. Algoritmo de Búsqueda Harmónica

Búsqueda Harmónica es un método que permite encontrar una solución que satisfaga la necesidad latente, mediante el estudio de soluciones parciales, por ello, cada solución al ser considerada una armonía es representada n-dimensionalmente por un vector [33].

Las soluciones parciales que conforman el proceso de solución final, son elegidas aleatoriamente y, dicha solución parcial es archivada en la memoria harmónica. Realizado esto, se procede a generar una nueva solución parcial para compararla con la anteriormente hallada, dependiendo de los criterios contenidos dentro de búsqueda harmónica, se reiniciará la memoria harmónica guardando la nueva solución solo y solo si la nueva solución es catalogada como mejor [20].

Este procedimiento se llevará a cabo hasta operar cada una de las soluciones parciales, eliminando las soluciones operadas anteriormente si

las nuevas soluciones resultan contener el peor vector inmerso en la memoria harmónica. Este procedimiento está compuesto por tres etapas: inicialización, generación de nuevas soluciones y actualización de memoria harmónica, a continuación se abordan las etapas mencionadas [21] [22].

2.1 Inicialización de Búsqueda Harmónica

El modelo básico de Búsqueda Harmónica inicia a través de la inicialización, que consiste en inicializar las soluciones iniciales que resultan ser parciales, estas soluciones son representadas como un vector n-dimensional el cual, los valores de las componentes a ser optimizados [22], estas posibles soluciones o soluciones parciales son aleatoriamente seleccionadas y se encuentran identificadas entre un límite inferior y uno superior, estos límites son también llamados restricciones. Es importante mencionar que, la inicialización da parte al tamaño de la memoria harmónica, el ajuste de la misma, el número de improvisaciones y el desplazamiento [23]. Esto se debe a que de la inicialización dependerá definir el número de soluciones parciales que serán comparadas hasta llegar a la solución óptima. Por ende, la memoria harmónica tendrá un tamaño que estará definido por el número de elementos que posean el mejor desempeño para ser almacenados, para hacer uso del mismo como solución óptima [33]. Y tendrá la siguiente configuración:

$$MH = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_{MH} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Donde:

(MH): Memoria Harmónica.

(X_1) : Vector improvisación aleatoria 1.

2.2 Improvisación de nuevas soluciones

Esta etapa tiene por finalidad generar de manera improvisada un vector X_s , el cual, proviene de la selección aleatoria en conjunto con la verificación de la memoria armónica. Por la verificación de memoria, este vector toma un valor de 1, esto por ser funcionalmente generado a través de la primera iteración como solución parcial, de la siguiente manera:

$$(X_1 1, X_2 1, \dots, X_{MH}) \quad (2)$$

Donde:

$(X_1 1)$: Vector improvisación aleatoria 1, en la primera iteración.

Hecho esto, se deben reinicializar el valor aleatorio con la finalidad de seleccionar una nueva posible solución. Por lo tanto, la verificación de memoria y la selección aleatoria tendrán la siguiente representación a modo de ecuación:

$$X_s = \begin{cases} X_s \in \{X_1(j), X_2(j), \dots, X_{MH}(j)\} \\ 1 - MH \end{cases} \quad (3)$$

Donde:

(X_s) : Vector de reinicio de memoria armónica.

2.3 Actualización de Memoria Armónica

Este procedimiento tiene por finalidad actualizar la memoria armónica luego de haber generado un nuevo vector solución X_s , ya que es necesario guardar la nueva solución en la memoria, descartando así la anteriormente guardada; con la finalidad de obtener un mejor

resultado en cuanto a las restricciones que delimitan el valor de las componentes se refiere, por ende sí, X_s es de mayor trascendencia que X_w , lo reemplazará dentro de la memoria armónica, de lo contrario el contenido archivado en la memoria permanecerá sin cambio alguno.

Debido a esto, podremos mencionar que si la memoria armónica guarda la solución más recomendable, al ejecutar cada una de las iteraciones necesarias, se asegurará que la convergencia del algoritmo procesado obtenga un solo valor destinado a cumplir a cabalidad con el propósito de optimización que posee la función objetivo [22].

$$\begin{aligned} & \text{Min } F(x) \\ & \text{s. a. } x_i \in X_i \quad i = 1.2.3 \dots \end{aligned} \quad (4)$$

Donde:

(x) : Función objetivo.

x : Conjunto de las variables de decisión (x_i) .

X_i : Conjunto de rango de posibles valores para cada variable $(Lx_i < X_i < Ux_i)$.

N : Número de variables de decisión.

En esta etapa también se especifican los diferentes parámetros utilizados en el algoritmo como:

- Número de vectores solución en la memoria de armonía (HMS , Harmony Memory Size).
- Tasa de selección de los elementos almacenados en la memoria ($HMCR$, Harmony Memory Considering Rate).
- Tasa de ajuste de tono (PAR , Pitch Adjusting Rate).
- Número de variables de decisión (N).
- Número de improvisaciones (NI).
- Criterio de parada.

Al responder el algoritmo a cada una de las restricciones, procederá a ejecutar el criterio de parada, el cual se encuentra claramente delimitado por el número de soluciones e iteraciones que posee el algoritmo [22]. En el capítulo llamado modelo de optimización se presentará este procedimiento mediante el pseudocódigo mostrado en él.

3. Caso de Estudio y Modelamiento del Sistema

Para realizar el presente estudio es necesario contar con un sistema de modelo de distribución eléctrico, que brinde la posibilidad de obtener los datos necesarios al simular mediante un flujo de potencia y, a través del mismo obtener los valores de las componentes eléctricas que muestren su funcionamiento en operación normal. Por ello, y palpando esta necesidad, se ha optado por elegir el sistema de nueve barras, proveniente de la entidad IEEE.

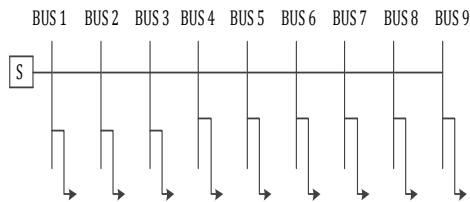


Figura 3. Sistema de nueve Barras, tomado de IEEE

Definido el caso de estudio, se procede a realizar todos los análisis pertinentes que conforman el estudio global, permitiendo así alcanzar el cometido de este documento, por ello hemos considerado exponer los datos nominales que pertenecen al sistema de distribución en la siguiente tabla, cuyos valores fueron tomados del estudio de 9 barras de la entidad IEEE, el cual muestra un voltaje de operación de 23 kilo voltios.

Tabla 1. Valores nominales del Sistema Distribución.

Volt (Kv)	Line	Nodo 1	Nodo 2	r p.u	x p.u
23	L1	1	2	0.002 3308	0.00 7801
23	L2	2	3	0.002 6465	0.01 1393
23	L3	3	4	0.014 1077	0.02 2777
23	L4	4	5	0.013 2022	0.01 1500
23	L5	5	6	0.037 4877	0.08 2667
23	L6	6	7	0.017 1134	0.01 4907
23	L7	7	8	0.038 8506	0.02 2003
23	L8	8	9	0.090 6483	0.02 2003
23	L9	9	10	0.102 0094	0.05 7209

3.1 Análisis de flujos de Potencia

Como se ha mencionado anteriormente, el análisis de flujos de potencia es de importancia vital para realizar un modelo de optimización que permita establecer la ubicación de los emplazamientos GD dentro de un sistema de distribución eléctrica.

Esto se debe a que el análisis permite determinar los valores de las magnitudes eléctricas en régimen permanente y balanceado en cuanto a operación se refiere. Por ello, este análisis brinda la posibilidad de proyectar diferencias bastante significantes frente al hecho de aportes de potencia por medio de GD; es decir, nos permitirá analizar el funcionamiento del sistema, previo a implementar unidades de GD y, también nos permitirá valorar dicho funcionamiento al implementar las unidades de GD; obteniendo de esta forma, la valoración necesaria del funcionamiento del sistema de distribución eléctrica sin aportes de GD y con ellos. Para llevar a cabo todo lo anteriormente mencionado, es necesario obtener los valores correspondientes de las impedancias de cada una de las líneas que conforman el sistema, cargas eléctricas y su relación entre sí.

Por ello resulta estrictamente necesario elaborar la matriz de admitancias, también conocida como “Y de Bus” o de barra, para efectuar este proceso, se aplican las siguientes ecuaciones (7), (8) [34].

$$P_i = |V_i|^2 G_{ii} + \sum_{n=1}^N |V_i V_n Y_{in}| \cos(\Theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (5)$$

Donde:

(P_i): Potencia activa nodal.
(V_i): Voltaje nodal.
(δ_n, V_i): Variables de estado.
(Θ_{in}): Ángulo de voltaje nodal.

$$Q_i = -|V_i|^2 B_{ii} + \sum_{n=1}^N |V_i V_n Y_{in}| \sin(\Theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (6)$$

Donde:

(Q_i): Potencia reactiva nodal.
(B_{ii}): Elemento de Y de bus.
($\Theta_{in} + \delta_n - \delta_i$): Complejo conjugado del nodo.

Las ecuaciones (5) y (6) hacen referencia a la consideración de que las barras poseen un voltaje controlado y poseen una carga conocida, dando la posibilidad de encontrar dichas magnitudes en todas las barras que no sea la barra de compensación.

$$\Delta P_i = P_{i,prog} - P_{i,calc} \quad (7)$$

$$\Delta Q_i = Q_{i,prog} - Q_{i,calc} \quad (8)$$

Donde:

($P_{i,prog}$): Potencia activa programada.
($P_{i,calc}$): Potencia activa calculada.
($Q_{i,prog}$): Potencia reactiva programada.
($Q_{i,calc}$): Potencia reactiva calculada.

Realizado esto, las ecuaciones (7) y (8) que son correspondientes a las potencias activa y reactiva calculadas, serán extendidas para el caso de estudio que, posee en su haber 9 buses.

Al desarrollarse de esta manera, dan posibilidad de mostrar el llamado error o variación tanto en potencia activa y reactiva. Mostrando de esta forma, que, al unir todas estas ecuaciones podemos obtener la siguiente matriz.

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_9} & |V_2| \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \dots & |V_9| \frac{\partial P_2}{\partial |V_9|} \\ \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial P_9}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_9}{\partial \delta_9} & |V_2| \frac{\partial P_9}{\partial |V_2|} & \dots & |V_9| \frac{\partial P_9}{\partial |V_9|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_9} & |V_2| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \dots & |V_9| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_9|} \\ \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial Q_9}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_9}{\partial \delta_9} & |V_2| \frac{\partial Q_9}{\partial |V_2|} & \dots & |V_9| \frac{\partial Q_9}{\partial |V_9|} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \delta_2 \\ \vdots \\ \Delta \delta_9 \\ \frac{\Delta |V_2|}{|V_2|} \\ \vdots \\ \frac{\Delta |V_9|}{|V_9|} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_9 \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_9 \end{pmatrix} \quad (9)$$

Donde:

(J_{11}): Componente jacobiano de la matriz Y de bus.
(J_{21}): Componente jacobiano de la matriz Y de bus.
(J_{12}): Componente jacobiano de la matriz Y de bus.
(J_{22}): Componente jacobiano de la matriz Y de bus.
(ΔP_i): Variación de potencia activa, llamado error.

(ΔQ_i) : Variación de potencia reactiva, llamado error.

La matriz mostrada anteriormente, se compone de tres elementos, el jacobiano que está compuesto por la potencia activa y reactiva de cada una de las barras, un factor de corrección denotado por la variación de los ángulos de fase y voltajes de los mismos, dando como resultante la variación de la potencia activa y reactiva del sistema, obteniendo así el comportamiento del sistema de distribución eléctrico. Las componentes inmersas dentro de la matriz jacobiana excluyen a los subíndices 1, esto se debe a que dichas componentes son referentes a la barra de compensación, por ello no se las considera en la matriz, de la misma manera se deben omitir las componentes de variación, tanto como de ángulo y voltaje del bus 1.

Mencionado lo anterior, se procede a operar la matriz jacobiana con la siguiente observación, la matriz se opera mediante el voltaje para cada uno de los componentes jacobianos, esto por facilitar la operación y, consiguiendo con ello, simetría en los resultados.

$$|V_j| \left| \frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} \right| * \frac{\Delta |V_j|}{|V_j|} = \frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} * \Delta |V_j| \quad (10)$$

Donde:

$\left(\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} \right)$: Expresión de derivación de la submatriz J_{11} .

Gracias al proceso de iteración se logra hallar la solución de la ecuación (10) de la siguiente manera. Para variables de estado permite estimar los valores de: $\delta_i^{(0)}$ y $|V_i^{(0)}|$

Con ello, se procede a calcular las ecuaciones correspondientes a P y Q, de la siguiente forma.

$$P_{i,calc}^{(0)} \text{ y } Q_{i,calc}^{(0)} \quad (11)$$

Donde:

$(P_{i,calc})$: Potencia activa calculada.

$(Q_{i,calc})$: Potencia reactiva calculada.

Dónde, obteniendo los valores de dichas variables se procede a obtener el valor correspondiente al error o variación de las mismas $\Delta P_i^{(0)}$ y $\Delta Q_i^{(0)}$ y de la misma manera se obtienen de los elementos de derivadas parciales, producto de la matriz jacobiana (18). A partir de ello se debe resolver la ecuación (18) con la finalidad de hallar las correcciones iniciales del ángulo y voltajes; las ecuaciones tanto para ángulos y voltajes serán las mostradas a continuación.

$$\delta_i^{(1)} = \delta_i^{(0)} + \Delta \delta_i^{(0)} \quad (12)$$

Donde:

$(\delta_i^{(1)})$: Ángulo de voltaje nodal, primera iteración.

$(\delta_i^{(0)})$: Ángulo de voltaje nodal.

$(\Delta \delta_i^{(0)})$: Variación de ángulo de voltaje nodal.

Considerando la ecuación (12), se deberán ejecutar las iteraciones necesarias hasta que el resultado converja, mediante este criterio, se exponen las ecuaciones en términos generales, capaces de satisfacer la necesidad del.

Al aplicarlas en el sistema eléctrico de 9 barras, brindan la posibilidad de encontrar la matriz

jacobiana del sistema, la cual, tendrá la siguiente forma, según

$$J_{11} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} & , \dots , & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_9} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} & , \dots , & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_9} \\ \vdots & \vdots & , \dots , & \vdots \\ \frac{\partial P_8}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_8}{\partial \delta_3} & , \dots , & \frac{\partial P_8}{\partial \delta_9} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Donde:

$(\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j})$: Componente jacobiano J_{11} de la matriz Y de bus.

Ahora bien, hallada la matriz anteriormente mostrada, se procede a derivar un número apropiado de sus términos por el método de derivadas parciales, esto con la finalidad de obtener el siguiente elemento, con el que se obtiene el valor de los voltajes y ángulos nodales. Con la finalidad de hallar los flujos que circulan por las barras del sistema se deberá realizar la expansión, mediante esto se podrán obtener las ecuaciones independientes que mostrarán el comportamiento del sistema en cuanto a potencia activa y reactiva se refiere. Del mismo modo, se podrá identificar el tipo de barras que componen el sistema, esta discriminación permitirá conocer si la barra se encuentra enlazada directamente a un sistema de generación, ya que, es importante saber si la barra tiene como funcionamiento característico el mantener una magnitud constante de voltaje o su funcionamiento es ser referencia del valor del ángulo para todo el sistema de potencia. El método de resolución mostrado en el párrafo inmediatamente anterior, permite palpar el funcionamiento del sistema eléctrico a pesar de su complejidad y su no linealidad. Por

otro lado, es importante recalcar que, este método iterativo permite verificar el comportamiento del sistema, más no si dicho funcionamiento resulta o no óptimo en estado de operación. Por ello es evidente que, a más de realizar este estudio se deba complementar con el estudio de flujo óptimo de potencia, ya que con él se pueden fijar aspectos de funcionamiento que permitan minimizar pérdidas de cualquier tipo al maximizar recursos, mejorando de esta forma la seguridad, confiabilidad y calidad del sistema eléctrico.

3.2 Modelo de Optimización

Tomando como referencia todo lo anteriormente expuesto, se procede a exponer el proceso global en el que opera el modelo de optimización.

Elegido el sistema eléctrico, se procede a ingresar los valores de las variables obtenidas de dicho sistema, esto tiene como finalidad encontrar la matriz de admitancias para correr el flujo de potencia FP y así conocer el funcionamiento del sistema, las cuales se detallan en [34]. Hecho esto, se procede a discernir si el funcionamiento eléctrico en cada una de las barras es o no óptimo. Esto es posible a través de dos criterios, flujo óptimo de potencia FO, y búsqueda armónica. Estos dos criterios permiten identificar si el funcionamiento de las barras se encuentra dentro de los límites operativos considerados como idóneos, es importante recalcar que los límites de funcionamiento son las llamadas restricciones de nuestra función objetivo, lo cual se podrá verificar en [19]. Si bien es cierto, hemos mencionado que, tanto el estudio de flujo óptimo como,

búsqueda armónica hacen posible ejecutar la optimización, este criterio se debe a que, las restricciones que permiten identificar si el funcionamiento de cada una de las barras en operación es óptimo, son comunes entre los dos criterios matemáticos, por ello estos métodos actúan complementariamente en este estudio, del mismo modo estos dos criterios, ayudan a determinar que potencia deberá tener la planta FV, debido a que el algoritmo se enfoca en llevar a los nodos seleccionados a un nivel de voltaje que se encuentre dentro de las restricciones implementadas anteriormente, volviéndolos óptimos. Realizado este estudio, mediante el proceso de búsqueda armónica se selecciona el nodo o barra eléctrica que tenga un funcionamiento erróneo, es decir, la barra que posea los valores más bajos será la seleccionada para, en ella implementar un nuevo emplazamiento FT a modo de GD, según lo exponen en [27] mediante un algoritmo diferente. Seleccionado el nodo, debemos encontrar el valor de potencia que permita compensar la baja tensión de dicho nodo, por ende, ese el siguiente cometido a realizar. Existe una característica del fenómeno eléctrico que resulta importante considerar, y es que, el camino y dirección del flujo de potencia no es posible encaminar ni asegurar. Por ello, debemos analizar el tipo de reacción desencadena la implementación del nuevo emplazamiento dentro del sistema, ya que, se considera que dicho emplazamiento aportará energía a todo el sistema eléctrico en estudio, este criterio de estabilidad se encuentra descrito en [29]. Para ello volvemos a apoyarnos en el método

de flujo de potencia, ejecutándolo nuevamente para palpar el funcionamiento del sistema eléctrico total con la aportación de energía del nuevo emplazamiento de tipo fotovoltaico a modo de generación distribuida. Por ello, se presenta el proceso global del algoritmo mediante es siguiente pseudocódigo.

Algoritmo de Ubicación de Paneles

Foto-voltaicos

Paso 1: Input; línea; Nodo; Pdd; Qdd; Pg; Qg; Vol; ang;

Paso 2: Output; Idx; C;

Paso 3: $Y_{bus}(i=j) = 1/z(1) + \dots + 1/z(n)$;
 $Y_{bus}(i, j) = 1/z(i, j)$

Paso 4: $Pot = Pg - Pdd$; $Qrec = Qg - Qdd$;

Paso 5: $U(1, k) = U(1, k-1)$;

Paso 6: $Qg(m) = QR(m) + U(m, k-1) * Y(m, k) * U(m, k-1)$

Paso 7: $Sg - Sd = U(m) * \Sigma(Y(m, k) * U(k))$;

Paso 8: $dU(m) = dU(m) + 1/Y(m, m) * (-Y(m, k) * U(m, k))$;

$U(m, k) = U(m, k) + dU(m)$;

$\begin{bmatrix} \Delta P(i) \\ \Delta Q(i) \end{bmatrix} < Tolerancia$

Paso 9: [Best.Sol]

while $f < 2$

for $i(1 \text{ to } n)$

if $vol_i \geq (0.95)$

if $voli_i < 1 + 0.05$

$voli_i = 1$;

end_if

end_if

end_for

Orden=sort([Vol])

HM= Orden;

BestSol=HM(1);

$i = i + 1$;

Mejor.Sol $_i$ =HM;

End_while

Paso 10: $DNodo = \sqrt{(P_nodo)^2 + (Q_nodo)^2}$;

$Ppico = 180$; $Rsolar = 4.27$;

$Ten = DNodo / 0.75$; $HSP = Rsolar / 1$;

$Nmd = \text{round}(Ten / (HSP * 0.8 * Ppico / 1000))$;

for $i(1 \text{ to } N)$

$P_total = Nmd * Ppico / 1000$;

$Vol =$

Pd

$|V(i)| * G(i, j) * \cos(\text{Ang}(j) - \text{Ang}(i)) + b(i, j) * \sin(\text{Ang}(k) - \text{Ang}(i))$

if $v > 0.97$

break;

else_if

$Nmd = Nmd + 1$;

End_if
end_for

Paso 11: Retorno al paso 4, Flujo de carga
Paso 12: FIN, $U > 0.95$

4. Análisis de los resultados

La finalidad de este capítulo es analizar técnicamente el comportamiento del sistema de distribución eléctrico, a medida que vayan ejecutándose cada uno de los procedimientos que componen el conjunto solución de este modelo de optimización. Por ello se presenta lo siguiente.

4.1 Sistema de Distribución en Condiciones Iniciales

Las condiciones iniciales del sistema de distribución eléctrico, han sido obtenidas mediante el análisis de flujo de potencia, mediante el cual, ha resultado factible hallar cada uno de los voltajes nodales que componen el sistema. Esto se encuentra representado de manera gráfica por la figura 4 mostrada a continuación.

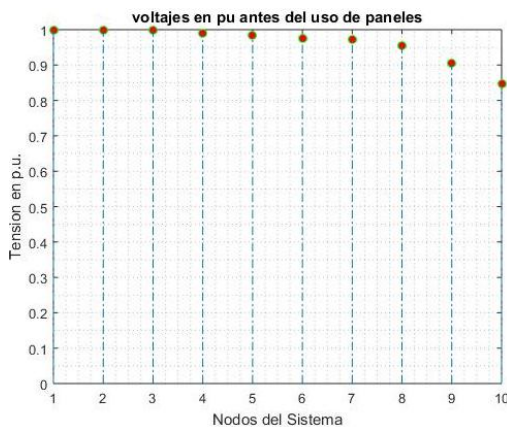


Figura 4. Voltajes nodales del Sistema de Distribución, mostrados en p.u.

Mediante la figura 4, se puede apreciar que, los voltajes nodales correspondientes a las barras 8, 9 y 10 presentan los valores más bajos en cuanto a voltaje se refiere.

Por ende se ha visto pertinente mostrar los valores de voltaje obtenidos en la siguiente tabla, con

la finalidad de exponer los valores obtenidos en el análisis

Tabla 2 Voltajes Nodales del Sistema de Distribución.

Nodo	Voltaje en p.u.
2	0.9994
3	0.9976
4	0.9898
5	0.983
6	0.9761
7	0.9709
8	0.8889
9	0.8952
10	0.8475

4.2 Aplicación de GD en los Nodos Seleccionados mediante Búsqueda Armónica

Ejecutado el análisis de flujo de potencia, el algoritmo de búsqueda armónica en conjunto con el análisis de flujo óptimo, inicializa la selección aleatoria de los nodos para aplicar GD.

Esto conlleva a que el algoritmo realiza el cálculo de la potencia que deberá tener el emplazamiento FV para poder optimizar el voltaje presente en la barra seleccionada.

Por tanto, el algoritmo ha seleccionado el nodo 10, producto de su primera iteración; la potencia calculada de la planta de generación FV para compensar su falencia operacional es de 1.8 kW, teniendo como resultado el comportamiento expuesto en la siguiente figura.

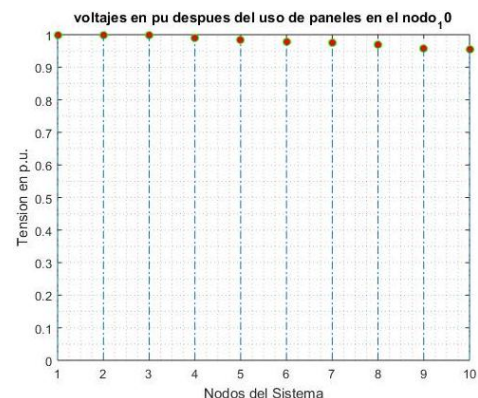


Figura 5. Voltaje nodal del nodo 10, al haber aplicado GD representado en p.u.

Como muestra la figura 5, el voltaje nodal en la barra o bus 10 al haber aplicado GD en él, muestra un incremento voltaico considerable, elevando su valor de 0.8475 a 0.9005 voltios en p.u.

Como se ha explicado previamente, este proceso se llevará a cabo repetidamente hasta hallar la solución considerada por las restricciones como óptima; es decir, a medida que, se sigan seleccionando los nodos, con el fin de hallar la mejor solución, se calculará la potencia correspondiente a cada uno de ellos, y se comparará en la memoria armónica resultado a resultado, discriminando de esta manera la mejor solución para el sistema de distribución y, no solamente la mejor solución nodal.

Por ello, la segunda iteración, ha dado como resultado la selección y análisis en el nodo 9, calculando una potencia de generación FV de 1.44 kW para compensar su falencia operacional. Esto permitirá elevar su voltaje de 0.8952 a 0.9057 voltios en p.u, como se expone en la figura 6.

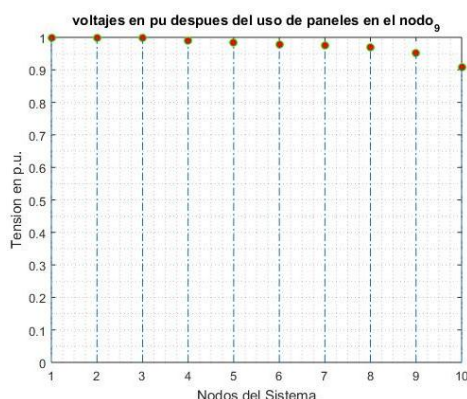


Figura 6. Voltaje nodal del nodo 9, al haber aplicado GD representado en p.u.

Del mismo modo, el algoritmo procede a ejecutar su tercera y última iteración, seleccionando el

nodo 8, el proceso determina que el emplazamiento FV que se enlazará en este nodo, posee una potencia calculada de 0.72 kW, permitiendo elevar su voltaje de 0.8889 a 0.9535 voltios en p.u.

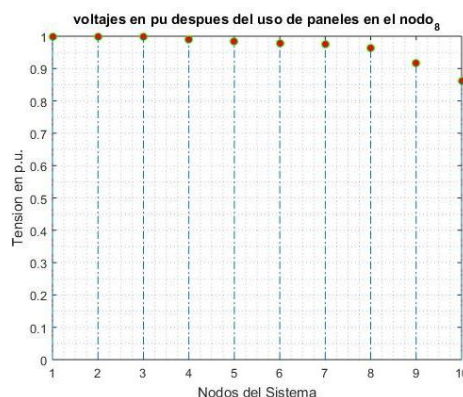


Figura 7 Voltaje nodal del nodo 8, al haber aplicado GD representado en p.u.

Como se puede apreciar, la ejecución del algoritmo ha optimizado la selección de nodos para aplicar GD, reduciendo su posible solución a tres. Los cuales, presentan las siguientes necesidades en cuanto a potencia se refiere:

Tabla 3. Potencias calculadas de Plantas de Generación FV, correspondiente a cada nodo

Nodo	Potencia en kW
10	1.8
9	1.44
8	0.72

Habiendo realizado lo anteriormente expuesto, es necesario extraer estos datos en una línea de tendencia que permita elegir de, entre los tres nodos, el que brinde mayor factibilidad en el cual, se enlazará la planta de generación energética de tipo FV.

4.3 Línea de Tendencia Referente al Perfil de Voltaje

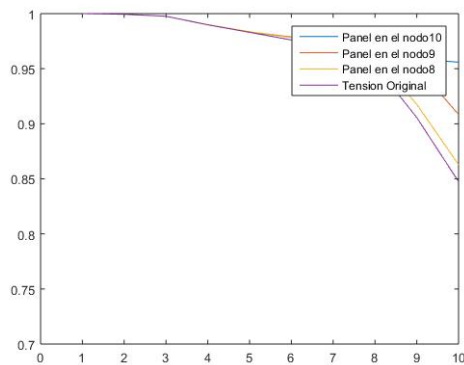


Figura 8. Línea de tendencia de perfil de voltaje en p.u. de los nodos seleccionados como óptimos.

La presente figura muestra la línea de tendencia resultante de las iteraciones que hacen posible hallar los nodos óptimos para aplicar GD. Tomando como referencia la tensión original que muestra la figura 8, se aprecia claramente la variación del perfil de voltaje global del sistema de distribución eléctrica, y esto con cada uno de los nodos seleccionados.

Por tanto, también se aprecia que la selección con mayor trascendencia para el sistema es implementar GD en el nodo 10, debido a que, al realizar este acople, incrementa el voltaje en el nodo seleccionado, pero también permite que los nodos adyacentes incrementen a través de él su voltaje nodal.

5. Conclusiones

El modelo de optimización propuesto ha satisfecho las expectativas inicialmente planteadas, cumpliendo con el análisis y optimización previstos, al efectuar de manera óptima la resolución de la función objetivo al hallar la ubicación idónea de la planta de generación eléctrica de tecnología foto voltaica que suministrará energía al sistema de distribución eléctrico, sin eludir las restricciones impuestas en el algoritmo de búsqueda armónica, que garantizan la solución más adecuada

para efectuar el cometido de aportación energética.

El algoritmo de búsqueda armónica ha permitido hallar la ubicación del emplazamiento GD que se enlazará al sistema de distribución eléctrico de manera óptima, ya que ha expuesto varios escenarios como posibles soluciones al haber analizado técnicamente el perfil de voltaje en cada uno de los nodos que han sido elegidos aleatoriamente, permitiendo de esta manera objetivar la decisión de manera técnica, evitando realizar esta acción de manera subjetiva y anti técnica.

Uno de los resultados con mayor trascendencia, es que el sistema opera en condiciones estables luego de haber implementado GD, pero así mismo tomando referencia que existe estabilidad, se debe tomar en cuenta que se debe limitar la implementación de fuentes de producción eléctrica FV a modo de GD, ya que, si se implementan sin control técnico alguno, el efecto será negativo para el sistema. Esto se debe a que este tipo de emplazamientos de energía eléctrica renovable, limita la producción como consecuencia de que su energía primaria no es controlable, y por tanto su producción tampoco lo es.

6. Trabajos Futuros

Como se mencionó anteriormente, y para futuros desarrollos relacionados con este estudio, se debe realizar la implementación de GD del tipo FV, en la cual se desencadena varias ventajas técnicas para el sistema, una de ellas es la compensación de potencia activa de la red de distribución. Por ende, se plantea la posibilidad de tomar como base el mismo trabajo y así, en un futuro, se podrá realizar un estudio enfocado a compensar reactivos en la red de distribución, para evitar penalizaciones a los usuarios del

servicio, particularmente a los usuarios industriales. Por otro lado, se podría realizar un estudio complementario al actual, en el que se determine la ubicación de GD, enfocándolo no solo a la compensación de potencia activa sino también que permita compensar potencia reactiva; es decir, considerar turbinas eólicas dentro del modelamiento y estudio del sistema.

Esto también se puede llevar a cabo incrementando restricciones que aseguren la estabilidad en el sistema, determinando aspectos con mayor detalle y concluyendo favorablemente con este posible estudio. A más de esto, se podría realizar un estudio económico complementario al estudio actual, con el objetivo de verificar la repercusión económica que presentará al sistema, al evitar costos de inversión innecesarios, por otra parte, también se podría analizar el costo de producción energético al implementar GD de tipo FV.

7. Referencias

- [1] W. D. Curillo Casco, "Ubicación óptima de generación distribuida en el sistema de distribución." 2017.
- [2] H. M. Al-Masri, A. Abu-Errub, W. R. Ayyad, and M. Ehsani, "On the PV module characteristics," *2016 Int. Symp. Power Electron. Electr. Drives, Autom. Motion, SPEEDAM 2016*, pp. 901–905, 2016.
- [3] V. Bećirović, I. Pavić, and B. Filipović-Grčić, "Sensitivity analysis of method for harmonic state estimation in the power system," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 154, pp. 515–527, 2018.
- [4] L. I. Dulău, M. Abrudean, and D. Bică, "Distributed Generation Technologies and Optimization," *Procedia Technol.*, vol. 12, pp. 687–692, 2014.
- [5] A. Ehsan and Q. Yang, "Optimal integration and planning of renewable distributed generation in the power distribution networks: A review of analytical techniques," *Appl. Energy*, vol. 210, no. July 2017, pp. 44–59, 2018.
- [6] E. M. B. Cavalheiro, A. H. B. Vergílio, and C. Lyra, "Optimal configuration of power distribution networks with variable renewable energy resources," *Comput. Oper. Res.*, vol. 0, pp. 1–9, 2017.
- [7] B. Singh and J. Sharma, "A review on distributed generation planning," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 76, no. March, pp. 529–544, 2017.
- [8] V. Vermeulen, J. M. Strauss, and H. J. Vermeulen, "Optimisation of solar PV plant locations for grid support using genetic algorithm and pattern search," *PECON 2016 - 2016 IEEE 6th Int. Conf. Power Energy, Conf. Proceeding*, pp. 72–77, 2017.
- [9] M. J. Kasaei, M. Gandomkar, and J. Nikoukar, "Optimal management of renewable energy sources by virtual power plant," *Renew. Energy*, vol. 114, pp. 1180–1188, 2017.
- [10] C. Vasquez, "Optimal location of distributed generation sources based on the voltage profile of electrical distribution systems." p. 22, 2016.
- [11] S. Seme, N. Lukač, B. Štumberger, and M. Hadžiselimović, "Power quality experimental analysis of grid-connected photovoltaic systems

- in urban distribution networks,” *Energy*, vol. 139, pp. 1261–1266, 2017.
- [12] S. M. Kandil, H. E. Z. Farag, M. F. Shaaban, and M. Z. El-Sharafy, “A combined resource allocation framework for PEVs charging stations, renewable energy resources and distributed energy storage systems,” *Energy*, vol. 143, pp. 961–972, 2018.
- [13] Z. Bradáč, F. Zezulka, P. Marcoň, Z. Szabó, and K. Stibor, “Stabilisation of low voltage distribution networks with renewable energy sources,” *IFAC Proc. Vol.*, vol. 12, no. PART 1, pp. 455–460, 2013.
- [14] A. Ulbig and G. Andersson, “Analyzing operational flexibility of electric power systems,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 72, pp. 155–164, 2015.
- [15] A. M. Abd-rabou, A. M. Soliman, and A. S. Mokhtar, “Impact of DG different types on the grid performance,” *J. Electr. Syst. Inf. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 149–160, 2015.
- [16] R. Rajesh and M. Carolin Mabel, “A comprehensive review of photovoltaic systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 231–248, 2015.
- [17] J. Driesen and R. Belmans, “Distributed generation: challenges and possible solutions,” *2006 IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet.*, p. 8 pp., 2006.
- [18] V. Vita, T. Alimardan, and L. Ekonomou, “The Impact of Distributed Generation in the Distribution Networks’ Voltage Profile and Energy Losses,” *2015 IEEE Eur. Model. Symp.*, pp. 260–265, 2015.
- [19] L. P. Chen, J. D. Duan, F. P. Yan, and T. Mu, “Optimal Scheduling Strategy of Active Distribution System Using Improved Harmony Search Algorithm,” *2016 China Int. Conf. Electr. Distrib.*, no. Ciced, pp. 10–13, 2016.
- [20] G. Liu and K. Tomsovic, “Parallel Harmony Search Based Distributed Energy Resource Optimization,” 2015.
- [21] N. Kumar, I. Hussain, B. Singh, and B. K. Panigrahi, “Normal harmonic search algorithm based MPPT of solar PV system,” *India Int. Conf. Power Electron. IICPE*, vol. 2016–Novem, 2017.
- [22] E. A. Portilla-Flores *et al.*, “Enhancing the Harmony Search Algorithm Performance on Constrained Numerical Optimization,” *IEEE Access*, vol. 3536, no. c, pp. 1–21, 2017.
- [23] C. Cobos, J. Pérez, and D. Estupiñan, “Una revisión de la búsqueda armónica A survey of harmony search,” vol. 8, no. 2, pp. 1–14, 2011.
- [24] E. Cuevas and N. Ortega-Sánchez, “El algoritmo de búsqueda armónica y sus usos en el procesamiento digital de imágenes,” *Comput. y Sist.*, vol. 17, no. 4, pp. 543–560, 2013.
- [25] T. Yuvaraj, K. R. Devabalaji, and K. Ravi, *Optimal Placement and Sizing of DSTATCOM Using Harmony Search Algorithm*, vol. 79. Elsevier B.V., 2015.
- [26] R. S. Rao and S. V. L. Narasimham, “Optimal Capacitor Placement in a Radial Distribution System using Plant Growth Simulation Algorithm,” vol. 2, no. 9, pp. 1971–1978,

- 2008
- [27] E. M. García, A. Águila, and J. W. González, "Analysis of Voltage Profile to determine Energy Demand using Monte Carlo algorithms and Markov Chains (MCMC)," no. Mcmc, pp. 1–6, 2016.
- [28] R. Article, "Optimal reactive power compensation in electrical distribution systems with distributed resources . Review," no. August, 2018
- [29] F. Castillo, A. Aguila, J. González, and S. Member, "Analysis of Stability of Tension and Losses of Electric Power in Distribution Networks with Distributed Generation," vol. 14, no. 11, pp. 4491–4498, 2016
- [30] D. D. I. Electrnica, "Three-Phase Grid-Tied Photovoltaic Inverter With Reactive Power Compensation Capability," no. Ropec, 2017.
- [31] W. Jian, "Distributed Control of Power Generation System," 2012.
- [32] D. Matvoz, R. Leskovec, and M. Maksi, "Optimized Reactive Power Characteristics for Distributed Generation Sources in the Low Voltage Network," 2011.
- [33] A. Águila and Gozález Samueza D.L, "Ubicación de recursos distribuidos basado en flujos de potencia usando optimización por enjambre de partículas," pp. 1–37, 2018.
- [34] E. Cuevas and N. Ortega-Sánchez, "El algoritmo de búsqueda armónica y sus usos en el procesamiento digital de imágenes," *Comput. y Sist.*, vol. 17, no. 4, pp. 543–560, 2013.
- [35] A. Águila and Villa Endara, V. A, "Óptima gestión y regulación de voltaje en microredes de distribución con generación distribuida y almacenamiento de energía," pp. 1–32, 2017.

8. Estado del Arte

UBICACIÓN OPTIMA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN USANDO EL MÉTODO DE BÚSQUEDA HARMÓNICA																									
	DATOS		TEMÁTICA					FORMULACION DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN				SOLUCIÓN PROPUESTA					
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Ubicación Optima	Impacto de GD	Energias Renovables no convencional	Redes de Distribucion	Estabilidad de voltaje	Confiabilidad del sistema electrico de potencia	Minimización de pérdidas de potencia	Ubicación de GD	Aplicación de software	Generacion Distribuida	Localizacion de la generación distribuida	Condiciones climaticas en implementacion de GD	Flujos de Potencia	Capacidad de los recursos energeticos	Redes de Distribucion	Rendimiento del algoritmo	Algoritmo de búsqueda Harmónica	Generacion Fotovoltaica	Aumento de potencia eléctrica mediante centros de generacion no convencionales	Asignacion Optima de recursos	Ubicación optima de GD	Eficiencia y calidad de energia	Confiabilidad del sistema electrico de potencia
1	2006	Distributed generation : challenges and possible solutions	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	2013	Analyzing Operational Flexibility of Power Systems	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	2015	Impact of DG different types on the grid performance	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	2013	Distributed generation technologies and optimization	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	2017	A review on distributed generation planning	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	2017	Optimal configuration of power distribution networks with variable renewable energy resources	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	2018	Optimal integration and planning of renewable distributed generation in the power distribution networks: A review of analytical techniques	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	2015	Optimal placement and sizing of DSTATCOM using Harmony Search algorithm	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

9	2017	Optimal management of renewable energy sources by virtual power plant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
10	2013	Stabilisation of low voltage distribution networks with renewable energy sources	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
11	2016	Normal Harmonic Search Algorithm Based MPPT of Solar PV System	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
12	2016	Optima Location of distributed generation sources in the voltage profile of electrical distribution sites	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
13	2017	Enhancing the Harmony Search Algorithm Performance on Constrained Numerical Optimization	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	2015	Parallel Harmony Search Based Distributed Energy Resource Optimization	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	2018	A combined resource allocation framework for PEVs charging stations, renewable energy resources and distributed energy storage systems	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	2015	The Impact of Distributed Generation in the Distribution Networks' Voltage Profile and Energy Losses	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	2016	On The PV Module Characteristics	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	2016	Optimisation of Solar PV Plant Locations for Grid Support Using Genetic Algorithm and Pattern Search	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	2016	Optimal Scheduling Strategy of Active Distribution System Using Improved Harmony Search Algorithm	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	2011	A survey of harmony search	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	2018	Optimal integration and planning of renewable distributed generation in the power distribution networks: A review of analytical techniques	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	2016	Optimisation of Solar PV Plant Locations for Grid Support Using Genetic Algorithm and Pattern Search	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	2017	Power quality experimental analysis of grid-connected photovoltaic systems in urban distribution networks	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
24	2017	Optimal location of Distribuidora Generation in electric distribution systems in operating costs	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25	2017	Optimal Location of Distributed Generation in the distribution systems	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26	1996	Optimal Capacitor Placement in a Radial Distribution System using Plant Growth Simulation Algorithm.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		CANTIDAD:	13	10	11	17	10	12	19	11	6	18	13	8	5	14		10	6	11	13	11	12	14	15

TEMÁTICA

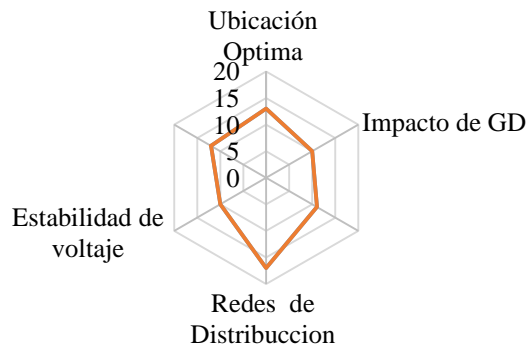


Tabla 4. Indicadores de Estado del Arte- Temática.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

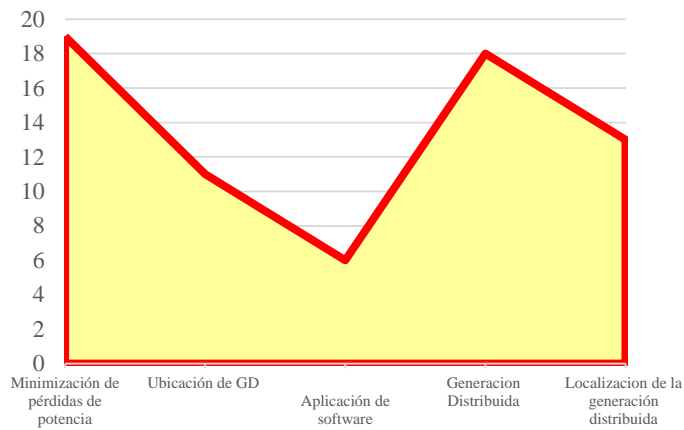


Tabla 5. Indicadores de Estado del Arte-Formulación del problema.

SOLUCIÓN DADA MEDIANTE

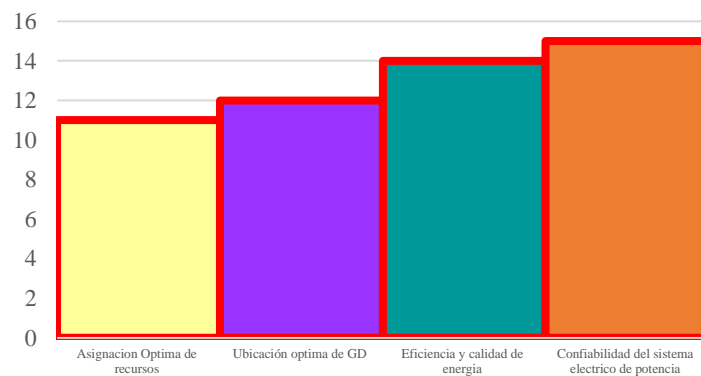


Tabla 6. Indicadores del estado de Arte-Solución.